



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ ⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑯ ⑯ **DE 198 19 200 A 1**

⑯ Int. Cl. 6:  
**H 01 L 31/0224**  
H 01 L 31/18  
H 01 L 21/60

⑯ ⑯ Aktenzeichen: 198 19 200.2  
⑯ ⑯ Anmeldetag: 29. 4. 98  
⑯ ⑯ Offenlegungstag: 11. 11. 99

DE 198 19 200 A 1

⑯ ⑯ Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑯ ⑯ Vertreter:  
Gagel, R., Dipl.-Phys.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
81241 München

⑯ ⑯ Erfinder:  
Lüdemann, Ralf, 79100 Freiburg, DE; Schaefer,  
Sebastian, 79106 Freiburg, DE

⑯ ⑯ Entgegenhaltungen:  
DE 1 96 21 487 A1  
DE 1 96 15 663 A1  
WO 96 01 494 A1  
WO 88 03 709 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ ⑯ Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen

⑯ ⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von  
Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbeson-  
dere Solarzellen, sowie Halbleiterbauelemente mit diesen  
Kontaktstrukturen.

Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wer-  
den nach dem Positionieren einer Ätzmaske über einer er-  
sten Schicht bzw. Schichtfolge Vertiefungen durch die er-  
ste Schicht bis in eine darunterliegende zweite Schicht  
geätzt. Das Ätzen erfolgt so, daß die Ätzmaske unterätz-  
t wird und/oder zumindest ein Bereich der ersten Schicht  
negative Flanken erhält. Anschließend wird elektrisch leit-  
fähiges Material in die Vertiefungen eingebracht, wobei  
die Ätzmaske oder die erste Schicht eine Schattenmaske  
für das Einbringen des Materials bildet. Das leitfähige Ma-  
terial wird nur bis zu einer Höhe in die Vertiefungen ein-  
gebracht, bei der noch kein Kontakt zwischen dem leitfä-  
higen Material und der ersten Schicht besteht.

Die Strukturen erlauben erstmals die Kontaktierung der  
Basis durch den Emitter ohne zusätzliche Maskierung. Die  
Erfindung ermöglicht dadurch eine einfachere und ko-  
stengünstige Herstellung von Metallkontakteen an Solar-  
zellen.

DE 198 19 200 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbesondere Solarzellen, sowie Halbleiterbauelementen mit diesen Kontaktstrukturen. Die Erfindung bezieht sich insbesondere auf Strukturen von Gräben oder Löchern und Verfahren zu ihrer Realisierung, die neuartige Kontaktierungen von Solarzellen ermöglichen.

Solarzellen sind Bauelemente, die Licht in elektrische Energie umwandeln. Üblicherweise bestehen sie aus einem Halbleitermaterial, das Bereiche bzw. Schichten unterschiedlicher Beweglichkeit für positive und negative Ladungsträger, n- bzw. p-leitende Bereiche, enthält. Die Bereiche werden als Emitter bzw. Basis bezeichnet. Durch einfallendes Licht erzeugte positive und negative Ladungsträger werden getrennt und können durch auf den jeweiligen Bereichen vorgesehene metallische Kontakte abgeführt werden. Zur nutzbaren elektrischen Leistung der Solarzellen tragen entsprechend nur solche Ladungsträger bei, die die Kontakte erreichen und nicht vorher mit einem jeweils anderen Ladungsträger rekombinieren.

Die metallischen Kontakte werden in der Regel durch Aufdampfen von Metall, das anschließend galvanisch verdickt wird, durch stromlose Abscheidung von Nickel oder durch Aufdrucken einer Metallpaste auf die Oberfläche der zu kontaktierenden Bereiche hergestellt. Wenn sich diese Bereiche nicht über die gesamte Solarzelloberfläche erstrecken oder aus anderen Gründen (z. B. Abschattung des Lichts, erhöhte Rekombination am Kontakt, etc.) das Metall nur stellenweise aufgebracht werden darf, wie weiter unten beschrieben, wird dies durch Verwendung von Masken bei der Herstellung sichergestellt.

Beim Aufdampfen von Metall wird üblicherweise eine photolithographisch hergestellte Lackmaske (3) direkt auf die Oberfläche der zu kontaktierenden Schicht (1) aufgetragen, wie dies in **Fig. 1a** dargestellt ist. Danach wird eine Metallschicht (4) aus dem Metalldampf (5) gänzlich auf der Oberfläche abgeschieden und die Lackmaske entfernt.

Eine andere Möglichkeit der Strukturierung besteht im Auflegen bzw. Aufklemmen einer Schattenmaske (3), wie in **Fig. 1b** gezeigt. Die weiteren Prozessschritte erfolgen wie in Verbindung mit **Fig. 1a** beschrieben. Zum Aufbringen der Metallisierung sind auch Druckverfahren anwendbar. Auch hierbei werden Masken, beispielsweise Siebdruckmasken (3) oder vorgeformte Klischees (Stempel- oder Tampondruck), eingesetzt. **Fig. 1c** zeigt das Siebdruckverfahren, bei dem Metall in Form einer Metallpaste (6) mittels eines Rakels (7) in die Zwischenräume der Maske gedrückt wird.

Die mit den gerade beschriebenen Verfahren hergestellten Metallkontakte werden meist in einer kammartigen Form realisiert, d. h. sie bilden sog. Grids.

In der einfachsten Form bestehen Solarzellen aus gänzlichigen Basis- und Emitterbereichen, wobei der Emitter meist auf der dem Licht zugewandten Seite (Vorderseite) liegt (siehe **Fig. 2**). Dadurch kann die Basis durch gänzlichiges Aufbringen von Metall auf der Rückseite kontaktiert werden. Der Emitter wird mit einem Grid kontaktiert, mit dem Ziel, möglichst wenig Licht durch Reflexion am Metallkontakt für die Solarzelle zu verlieren. Man spricht von der Abschattung der Solarzelle durch die Kontaktierung. Je geringer die Abschattung, d. h. je mehr Licht in die Solarzelle gelangen kann, desto größer ist die Stromausbeute der Zelle pro Fläche, und somit der Wirkungsgrad. Um einen Stromtransport mit geringem Widerstand zu garantieren, dürfen der Abstand der Gridfinger nicht zu groß, Anzahl und Querschnitt nicht zu klein gewählt werden. Eine gewisse Abschattung muß also in Kauf genommen werden.

**Fig. 2** zeigt eine Solarzelle mit der Basisschicht (1), der Emitterschicht (2) und dem Emittergrid (8) zur Kontaktierung des Emitters. Die Vorderseite, von der das Licht (10) einfällt, wird durch die Emitterschicht (2) gebildet. Auf der Rückseite der Basisschicht (1) ist der Basiskontakt (9) gänzlich aufgebracht.

Eine Möglichkeit, die Abschattung durch die Metallkontakte zu verringern, besteht darin, die Gridfinger hoch und schmal zu gestalten, wie dies in S.W. Glunz et al., Optimized High-Efficiency Silicon Solar Cells with  $J_{SC} = 42 \text{ mA/cm}^2$  and  $\eta = 23.3\%$ , 14<sup>th</sup> EU-PVSEC Barcelona, Spain (1997), vorgeschlagen wird. Dadurch wird die von den Kontakten abgedeckte Solarzellenfläche verringert, ohne den Querschnitt und damit die Leitfähigkeit des Grids zu verringern.

Das Verfahren erfordert jedoch eine spezielle Lackmaske, die sicherstellt, daß während der galvanischen Verdickung des aufgedampften Metalls das Grid nur in die Höhe wächst. Das Aufdrucken solcher feiner Kontakte ist nach dem heutigen Stand der Technik nicht möglich.

In der US 4726850 wird ein anderes Konzept, die sog. "buried contact cell", vorgestellt. Diese basiert auf durch Laser erzeugten Gräben (siehe auch US 4626613), die mit Metall gefüllt werden. Die Abschattung der Solarzelle wird dabei durch die Breite der Gräben bestimmt und kann minimiert werden, während durch die Tiefe der Gräben der Querschnitt der Kontakte erhalten bleibt. Ein weiterer Vorteil von solchen vergrabenen Kontakten liegt in der größeren Kontaktfläche zwischen Metall und Solarzelle, wodurch der Kontaktwiderstand herabgesetzt wird.

Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht jedoch darin, daß das Erzeugen der Gräben mittels Laser ein sehr aufwendiger Prozeß ist. Hierbei muß der Laserstrahl über eine präzise Ablenk- oder Verfahreinrichtung über die gesamte Oberfläche der Solarzelle geführt werden. Durch die Einwirkung des Laserstrahls wird zudem die Solarzelle geschädigt, so daß die Gräben anschließend geätzt werden müssen, um die geschädigte Schicht abzutragen. Dies gilt auch für mechanisch erzeugte, beispielsweise gesägte, Gräben.

Neben der Steigerung des Wirkungsgrades stellen die Vereinfachung der Herstellung und die Entwicklung billigerer Ausgangsmaterialien die wichtigsten Herausforderungen für die Solarzellentechnologie dar. Bezogen auf die Kontaktierung bedeutet der Verzicht auf Masken bei der Metallisierung eine erhebliche Vereinfachung. Zwei kürzlich beschriebene Verfahren zur maskenlosen Herstellung von Grids basieren auf der Texturierung der Oberfläche durch gesägte Gräben ähnlich einem Sägezahn muster.

So wird in M. Verbeck et al., Mechanically Grooved High-Efficiency Silicon Solar Cells with Self-Aligned Metallisation, 25<sup>th</sup> IEEE-PVSC Washington, U.S.A. (1996), ein erstes Verfahren vorgeschlagen, bei dem durch schräges Bedampfen aufgrund der gegenseitigen Abschattung nur die Spitzen der "Sägezähne" metallisiert werden. Dies ist schematisch in **Fig. 3a** dargestellt. Die Figur zeigt die gesägte Oberfläche einer zu kontaktierenden Schicht (1), an deren Spitzen durch schräges Bedampfen (5) nur einseitig eine Metallisierung (4) erzeugt wird.

Ein zweites Verfahren wird von C. Gerhards et al., Mechanically V-Textured Low Cost Multicrystalline Silicon Solar Cells with a Novel Printing Metallization, 26<sup>th</sup> IEEE-PVSC Anaheim, U.S.A. (1997), beschrieben. Das Verfahren ermöglicht durch die Erzeugung unterschiedlich hoher "Sägezähne" eine selektive Metallisierung durch sog. "roller printing", bei dem eine Metallpaste (6) mittels eines Rakels (7) aufgetragen wird, wie in **Fig. 3b** dargestellt.

Bei beiden Verfahren muß jedoch nach dem Sägen eine ca. 3-5  $\mu\text{m}$  dicke geschädigte Schicht durch Ätzen entfernt

werden. Außerdem eignen sie sich aufgrund der beim Sägen auftretenden mechanischen Verspannungen nicht für empfindliche Materialien, wie z. B. einige bandgezogene Materialien oder dünne abgeschiedene Schichten. Auch für Dünnschichtsolarzellen sind sie ungeeignet, da die minimal erzielbaren Sägetiefen meist größer als die Dicke der aktiven Solarzellenschichten (3–50 µm) sind.

Im Zuge der Entwicklung von billigeren Ausgangsmaterialien kommt dem Konzept der Dünnschichtsolarzelle auf einem kostengünstigen Substrat eine besondere Bedeutung zu. Die Solarzelle besteht dabei nur aus einer dünnen Halbleiterschicht (3–50 µm), die auf ein Trägermaterial aufgebracht ist. Viele dieser Substrate sind allerdings nicht leitfähig. Deshalb kann der Kontakt zur Basis nicht von der Rückseite über das Substrat erfolgen. Statt dessen muß ein sog. Einseitengrid verwendet werden, das aus zwei ineinander greifenden Grids, jeweils zur Kontaktierung der Basis und des Emitters, besteht.

**Fig. 4a** zeigt ein Beispiel für den Aufbau einer Dünnschichtsolarzelle mit Einseitenkontaktierung. Die Basischicht (1) ist hier auf einem isolierenden Substrat (11) aufgebracht. In die Basischicht sind die selektiven Emitterbereiche bzw. -schichten (2) eingebettet. Die Kontaktierung sowohl der Emitterbereiche als auch der Basis erfolgt durch ineinander greifende Emitter- (8) bzw. Basisgrids (9), wie in der Figur dargestellt.

Das Konzept der Einseitenkontaktierung kann gleichzeitig dazu genutzt werden, auf einem Substrat mehrere Solarzellen miteinander zu verschalten, wie in der deutschen Patentanmeldung P 197 15 138.8 beschrieben ist.

Die gleichen Ausführungen gelten auch für die Rückseitenkontaktzelle, einem Konzept für hocheffiziente Solarzellen, wie sie in **Fig. 4b** gezeigt ist. Hier sind beide Kontakte sowie die selektiven Emitterbereiche (2) auf der Rückseite der Basischicht (1) ausgeführt, um die Abschattung von Licht (10) auf der Vorderseite völlig zu eliminieren. Werden die Kontakte als schmale Grids (8, 9) realisiert, kann auch Licht, das von der Rückseite auf die Solarzelle gelangt, zur Stromerzeugung beitragen (sog. "bifacial cell").

Die Realisierung dieser Einseitenkontaktierung ist bislang allerdings nur durch sehr aufwendige Verfahren möglich. Dabei wird über mehrere Maskenschritte ein sog. selektiver Emitter erzeugt, d. h. der Emitter besteht nicht aus einer homogenen Schicht, sondern aus Teilbereichen, die der Form des Emittergrids entsprechen. Das Herstellungsverfahren ist in **Fig. 5** dargestellt. Die Oberfläche der Basischicht (1) wird zunächst maskiert (**Fig. 5a**). Anschließend wird das Material zur Erzeugung der Emitterbereiche (2) an den durch die Maske (3) vorgegebenen Stellen in die Oberfläche der Basischicht (1) eindiffundiert (**Fig. 5b**). In einem anschließenden "lift-off"-Prozeß wird die Maske (3) entfernt (**Fig. 5c**), so daß die in **Fig. 5d** gezeigte Struktur mit Basis (1) und selektiven Emitterbereichen (2) resultiert. Auf diese Weise bleiben an der Oberfläche Bereiche, die zur Basis (1) gehören, erhalten und können an der Oberfläche kontaktiert werden.

Das genaue Aufbringen der jeweiligen Metallkontakte auf den entsprechenden Emitter- bzw. Basisbereich stellt jedoch ein kritisches Justageproblem dar und erfordert zusätzliche Masken.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbesondere Solarzellen, sowie Halbleiterbauelementen mit Kontaktstrukturen bereitzustellen, die auf einfache und kostengünstige Weise realisiert werden können.

Weiterhin soll eine Ausführungsform des Verfahrens die einfache Realisierung von Einseitenkontakteuren von

Dünnschicht- und Rückseitenkontakt-Solarzellen ermöglichen.

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3 bzw. mit dem Halbleiterbauelement nach Anspruch 12 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Erfundungsgemäß wurde erkannt, daß eine einfache und kostengünstige Herstellung von Kontaktstrukturen durch Ätzen der Strukturen ermöglicht wird, wobei die eingesetzte

10 Ätzmaske gleichzeitig als Maske für das nachfolgende Einbringen des Kontaktmaterials, d. h. des elektrisch leitfähigen bzw. metallischen Materials, eingesetzt wird. Dadurch werden das Aufbringen und die problembehaftete genaue Justage einer weiteren Maske vermieden.

15 Beim erfundungsgemäßen Verfahren gemäß Anspruch 1 wird die Ätzmaske, die die Position der Kontaktstrukturen festlegt, über einer ersten Schicht oder Schichtfolge positioniert. Daraufhin werden Vertiefungen oder Öffnungen an den durch die Ätzmaske vorgegebenen Stellen in die erste

20 Schicht oder Schichtfolge geätzt. In diese Vertiefungen oder Öffnungen wird das elektrisch leitfähige Material eingebracht, beispielsweise gemäß einem in der Beschreibungseinleitung in Verbindung mit **Fig. 1** beschriebenen Verfahren, wobei die Ätzmaske auch als eine Maske für das Einbringen des Materials dient. Anschließend wird die Ätzmaske entfernt.

25 Das Verfahren eignet sich hervorragend zur Realisierung vergrößerter Basiskontakte.

Ein weiterer Vorteil besteht in der Tatsache, daß kein zusätzlicher Ätzschritt zur Beseitigung von Laser- oder Sägeschäden benötigt wird. Im Gegensatz zu gesägten Strukturen sind überdies auch Lochstrukturen realisierbar.

Gemäß einem zweiten, besonders vorteilhaften Aspekt der vorliegenden Erfindung (Anspruch 2) werden nach dem

30 Positionieren der Ätzmaske über der ersten Schicht oder Schichtfolge, das wie bei Anspruch 1 erfolgt, die Vertiefungen durch die erste Schicht oder Schichtfolge bis in die darunterliegende zweite Schicht oder Schichtfolge geätzt. Erfundungsgemäß erfolgt das Ätzen hierbei so, daß die Ätzmaske unterätzt wird. Anschließend wird elektrisch leitfähiges Material in die Vertiefungen eingebracht, wobei die Ätzmaske aufgrund der Unterätzung und der daraus resultierenden überstehenden Ränder eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet. Das leitfähige Material wird

40 nur bis zu einer Höhe in die Vertiefungen eingebracht, bei der noch kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder Schichtfolge besteht. Abschließend wird die Ätzmaske entfernt.

Gemäß einem dritten, besonders vorteilhaften Aspekt der

50 vorliegenden Erfindung (Anspruch 3) werden die ersten Schritte wie beim Verfahren gemäß Anspruch 2 durchgeführt. Gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung wird jedoch das Ätzen der Vertiefungen so durchgeführt, daß zumindest ein Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge negative

55 Flanken erhält bzw. unterätzt wird. Nach dem Ätzschritt kann die Ätzmaske bereits entfernt werden. Anschließend erfolgt das Einbringen von elektrisch leitfähigem Material in die Vertiefungen, wobei in diesem Fall der Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge mit negativen Flanken auf-

60 grund der daraus resultierenden überstehenden Ränder eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet. Das leitfähige Material wird auch hier nur bis zu einer Höhe in die Vertiefungen eingebracht, bei der noch kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder Schichtfolge besteht.

65 Durch die besonders vorteilhaften Aspekte der erfundungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 2 und 3 läßt sich ohne zusätzliche Maskierung oder Isolation eine Kontaktie-

rung der zweiten Schicht durch die erste Schicht hindurch realisieren. Dies ermöglicht beispielsweise die Kontaktierung einer Basisschicht durch die Emitterschicht einer Solarzelle hindurch.

Mit den Verfahren lassen sich beliebige Muster, wie Gräben oder Löcher und Kombinationen von Gräben und Löchern, in einem Schritt realisieren.

Bei Anwendung der Verfahren entsteht keine signifikante Schädigung der Solarzelle, und das zu behandelnde Material wird keinem mechanischen Stress ausgesetzt.

Als Ätzmasken können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Ansprüche 1 bis 3 beispielsweise photolithographisch strukturierte Lackschichten eingesetzt werden. Auch die Verwendung beispielsweise von Oxid-, Nitrid-, oder Metallschichten als Ätzmasken ist möglich. Besonders vorteilhaft an dem Verfahren ist die Möglichkeit der Verwendung von Schattenmasken, die lediglich aufgelegt oder aufgeklemt werden, so daß kein zusätzlicher Maskierungs schritt erforderlich ist.

Das Einbringen des elektrisch leitfähigen Materials kann durch bekannte Verfahren, wie beispielsweise die in der Beschreibungseinleitung in Verbindung mit **Fig. 1** beschriebenen Verfahren, erfolgen.

Ein erfindungsgemäßes Halbleiterbauelement, das gemäß dem Verfahren nach Anspruch 3 mit einer Kontaktstruktur versehen wurde, weist Vertiefungen oder Öffnungen in der ersten Schicht oder Schichtfolge auf, die sich bis in die zweite Schicht oder Schichtfolge erstrecken. Die Vertiefungen haben zumindest in einem Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge schräg verlaufende Flanken, deren gegenseitige Abstände mit der Tiefe zunehmen (negative Flanken). In den Vertiefungen ist elektrisch leitfähiges Material nur bis zu einer Höhe eingebracht, bei der kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder Schichtfolge besteht.

Unter schräg verlaufenden Flanken sind hierbei sowohl geradlinige als auch gekrümmte Flanken zu verstehen, mit anderen Worten jede Flankenform, die von der Senkrechten (zur Oberfläche der Solarzelle bzw. der ersten Schicht oder Ätzmaske) abweicht. Dies umfaßt selbstverständlich auch Stufen in der Flanke, die waagrecht verlaufende Bereiche, die zur Vergrößerung des Querschnitts der Vertiefung mit der Tiefe führen, als schräge bzw. negative Flanken im vorliegenden Sinne haben.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt eine Verbesserung bekannter Kontaktstrukturen bzw. Kontaktierungsverfahren für Solarzellen oder andere Halbleiterbauelemente dar. Kernstück des Verfahrens gemäß Anspruch 2 und 3 sind speziell geformte Vertiefungen. Die angegebenen Ätzvorgänge werden vorzugsweise durch ein Plasmaätzverfahren realisiert (vgl. Anspruch 9).

Die Vertiefungen in Form von Gräben oder Löchern zeichnen sich dadurch aus, daß sie aufgrund gezielter Unterätzung bzw. Flankenform eine teilweise Selbstmaskierung bewirken (vgl. **Fig. 6**, Anspruch 3). Diese Form der Vertiefungen kann durch gezielte Steuerung der Ätzung oder auch durch unterschiedliches Ätzverhalten der Materialien in verschiedenen Oberflächenschichten realisiert werden. Durch die so erzielte (Selbst-) Maskierung werden beim Bedampfen Teile der Struktur nicht metallisiert, so daß bei der Metallisierung Kurzschlüsse zwischen Emitter und Basis verhindert werden. Es ist deshalb erstmals eine Kontaktstruktur möglich, bei der die Basis einer Solarzelle nach homogener Diffusion des Emitters von der Emitterseite aus kontaktiert werden kann.

Dieser Selbstmaskierungseffekt kann neben der gezielten Formung der Vertiefungen auch durch Ätzverfahren erreicht werden, die die zur Erzeugung der Struktur notwendige

Maske nicht angreifen, aber so unterätzen, daß die Maske die Flanken der Vertiefungen während der Metallisierung teilweise maskiert (vgl. **Fig. 7**, Anspruch 2). Da für die Strukturerzeugung und für die Metallisierung dieselbe

5 Maske verwendet wird, handelt es sich um sog. selbstjustierende Kontaktstrukturen.

Um die Abschaltung der Solarzelle zu minimieren und gleichzeitig eine hohe Stromleitfähigkeit der Kontakte und einen geringen Kontaktwiderstand zu gewährleisten, sollten 10 die Gräben oder Löcher schmal und tief sein, d. h. ein hohes Aspektverhältnis (Verhältnis von Tiefe zu Breite) aufweisen.

Die Erzeugung der erfindungsgemäßen Gräben- oder Löcherstrukturen kann nicht mittels Laser oder durch mechanische Formung erreicht werden. Die Strukturen sind beispielweise durch naß-chemisches Ätzen in begrenztem Maße realisierbar.

Zum einen kann die Eigenschaft mancher Ätzlösungen ausgenutzt werden, in bestimmte Kristallrichtungen schneller zu ätzen als in andere. Auf entsprechend geschnittenem einkristallinem Material kann dies zu den gewünschten Strukturen führen. Allerdings ist deren Größe und Geometrie durch die Kristallstruktur des Materials vorgegeben.

Zum anderen können Ätzlösungen verwendet werden, die 20 in alle Kristallrichtungen gleich schnell ätzen, und die Ätzmaske unterätzen, aber nicht angreifen. Allerdings erzeugt dieser rein isotrope Ätzabtrag lediglich halbkugelförmige Strukturen, d. h. ein schlechtes Aspektverhältnis.

Vorzugsweise werden daher Plasmaätzverfahren eingesetzt, mit denen sich in vorteilhafter Weise die Flanken kennung oder Unterätzung kontrollieren läßt. Mit Plasmaätzverfahren läßt sich zudem ein hohes Aspektverhältnis erzielen.

Beim Plasmaätzen werden reaktive und/oder inerte Gase 35 mittels Hochfrequenz- und/oder Mikrowellen-Einstrahlung zu Plasmen gezündet. Die dadurch entstehenden Radikale können mit der Probenoberfläche reagieren (isotropes chemisches Ätzen) und/oder entstehende Ionen werden darauf durch ein elektrisches Feld beschleunigt.

40 Im Fall des Reaktiven-Ionen-Ätzens (RIE, engl.: "Reactive Ion Etching") nutzt man dabei hauptsächlich reaktive Ionen, die nicht nur Oberflächenatome heraus schlagen oder durch ihre Energie chemische Reaktionen unterstützen, sondern selbst mit Oberflächenatomen reagieren können. Der gerichtete Ionenstrom bewirkt einen anisotropen Abtrag. Durch geschickte Wahl der Prozeßparameter kann das Verhältnis von isotropem und anisotropem Ätzen und damit die Unterätzung bzw. Flankenform der Strukturen gezielt beeinflußt werden. Dies ist unabhängig vom zu ätzenden Material und 45 seiner Kristallorientierung und demnach auch für kostengünstiges multikristallines Material anwendbar.

Die bei allen Plasmaprozessen mögliche Schädigung des behandelten Materials ist für Solarzellen extrem kritisch. Im Gegensatz zu den meisten anderen Halbleiterbauelementen 50 soll in Solarzellen die Verlustleistung so gering wie möglich gehalten werden. Das bedeutet, daß die Rekombination von Ladungsträgern weitestgehend unterdrückt werden muß, damit möglichst viele Ladungsträger die elektrischen Kontakte erreichen. Um dies zu gewährleisten, werden im vorliegenden Fall extrem schädigungssarme plasmaunterstützte Ätzverfahren eingesetzt, die keine negativen Einflüsse auf die Solarzelle haben. Erreicht wird dies durch geringe Ionenenergien und eine an den jeweiligen Prozeß angepaßte Kombination von Ätzgasen.

65 Die Tatsache, daß es sich bei Plasmaätzverfahren um trocken-chemische Verfahren handelt, erweitert den Anwendungsbereich über den naß-chemischer Verfahren hinaus. So ist beispielsweise bei Einsatz eines Plasmaätzverfahrens

zur Erzeugung der erfundungsgemäßen Kontaktstrukturen in vorteilhafter Weise die Behandlung von Dünnschichtsolarzellen auf porösen Substratmaterialien möglich. Da Plasmaätzverfahren trockene Verfahren darstellen, kommt das zu behandelnde Material nicht in Berührung mit Flüssigkeiten. Auch können Schattenmasken als Ätzmaske verwendet werden, was sehr viel kostengünstiger ist als die für die Naßchemie nötigen photolithographischen Masken.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Figuren näher erläutert. Hierbei zeigen

**Fig. 1** Beispiele für Metallisierungsverfahren bei Solarzellen nach dem Stand der Technik;

**Fig. 2** ein Schema einer einfachen Solarzelle nach dem Stand der Technik;

**Fig. 3** Beispiele für eine maskenlose Metallisierung von Sägezahnstrukturen nach dem Stand der Technik;

**Fig. 4** Beispiele für eine Einseitenkontaktierung einer Dünnschichtsolarzelle (a) und einer Rückseitenkontaktzelle (b) nach dem Stand der Technik;

**Fig. 5** ein Beispiel für die Schritte zur Herstellung eines selektiven Emitters nach dem Stand der Technik;

**Fig. 6** Beispiele für die Ausgestaltung erfundungsgemäßer selbstmaskierender Kontaktstrukturen;

**Fig. 7** Beispiele für die selbstjustierende Metallisierung aufgrund von Selbstmaskierung durch Unterätzen der Ätzmaske gemäß einem Aspekt der Erfindung;

**Fig. 8** ein Beispiel für die Schritte bei der selbstjustierenden Herstellung vergrabener Kontakte gemäß der Erfindung;

**Fig. 9** ein Beispiel für die erfundungsgemäße Kontaktierung der Basis einer Solarzelle durch eine homogene Emitterschicht hindurch;

**Fig. 10** ein Beispiel für das Ergebnis der Metallisierung einer Struktur ohne Einsatz des erfundungsgemäßen Verfahrens;

**Fig. 11** ein Beispiel für die erfundungsgemäße Metallisierung von Emitter und Basis bei Rückseitenkontaktierung;

**Fig. 12** ein Beispiel für die erfundungsgemäße gleichzeitige Metallisierung von Einseitenkontaktgrids.

Die in den **Fig. 1** bis **5** dargestellten Beispiele für Verfahren zur Metallisierung, Kontaktierung und Ausgestaltung von Solarzellen im Stand der Technik wurden bereits in der Beschreibungseinleitung erläutert.

**Fig. 6** zeigt Beispiele für Kontaktstrukturen, die durch Unterätzen von bzw. durch Ätzen negativer Flanken in einem Bereich der auf der Basisschicht (1) einer Solarzelle befindlichen Emitterschicht (2) erzeugt wurden. Alle gezeigten Strukturen weisen bei der Metallbedampfung einen Selbstmaskierungseffekt auf, so daß nach dem Abscheiden des Metalls auf der Oberfläche der Emitterschicht der Emitterkontakt (8) und in den Vertiefungen der Basiskontakt (9) in der schematisch dargestellten Form entsteht. Die Vertiefungen werden hierbei nur soweit aufgefüllt bzw. die Abscheidung des Metalls erfolgt nur solange, daß kein Kontakt zwischen Basiskontakt (9) und Emitterschicht (2) entsteht. Die in der Figur dargestellten Flanken der Vertiefungen weisen (in den Abbildungen von links nach rechts) negative geradlinige Flanken, senkrechte Flanken in der Basisschicht mit negativem Bereich in der Emitterschicht, eine beliebige Flankenform mit negativem Bereich in der Emitterschicht, und eine Flankenform nach isotroper Ätzung mit negativem Bereich in der Emitterschicht auf. Die gezeigten Flankenformen können beispielsweise durch unterschiedliches Ätzerhalten in Emitter und Basis entstehen.

In **Fig. 7** sind Beispiele für die Selbstmaskierung durch Unterätzen der Ätzmaske (3) gemäß einem Aspekt der Er-

findung dargestellt. Die Bedeutung der Bezeichnungen entspricht der der **Fig. 6**. Bei diesem Unterätzen wird die Ätzmaske (3) selbst nicht angegriffen. Die genaue Form der Vertiefungen spielt hierbei keine Rolle mehr, d. h. es sind 5 keine negativen Flanken in der Emitterschicht (2) wie bei **Fig. 6** erforderlich.

In der rechten Abbildung ist eine REM-Aufnahme einer mit dem Verfahren realisierten Struktur dargestellt. Die Erzeugung dieser Struktur kann beispielsweise in einem ECR-Reaktor im Downstream-Modus durchgeführt werden. Bei Einsatz eines Ätzgases wie Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub> bei einem Gasfluß von 30 sccm, einem Druck von 3 Pa, einer Mikrowellenleistung von 400W, einer Probentemperatur von 10°C, einem Abstand Probe-Plasma von 200 mm und einer Ätzzeit von 15 min kann beispielsweise eine Grabentiefe von 15 µm erreicht werden. Bei Einsatz zusätzlicher Hochfrequenz-(RIE-) Leistung von 20 W können die Gräben in der gleichen Zeit schmäler und tiefer realisiert werden.

Ein Anwendungsbeispiel (Beispiel 1) des erfundungsgemäßen Verfahrens nach Anspruch 1 stellt die selbstjustierende Metallisierung von vergrabenen Kontakten in einer Solarzelle dar. Das Verfahren stellt in diesem Fall eine Verbesserung der mittels Laser oder durch Sägen erzeugten Gräben bezüglich Aspektverhältnis und Schädigung einer "buried contact cell" dar.

Erfolgt die Strukturierung der Oberfläche vor der Emitterbildung, kann ein Emitterkontakt realisiert werden. Erfolgt die Strukturierung auf dem Basisgebiet der Solarzelle, wird ein Basiskontakt realisiert.

Zur Erzeugung der Gräben (oder Löcher) wird eine Maske (3) verwendet. Dies kann entweder eine photolithographisch erzeugte Lackmaske oder eine Schattenmaske sein. Auch entsprechend geöffnete, bereits vorhandene Schichten (Oxide, Nitride, Metalle, etc.) auf der Solarzelle

(1) können als Maske verwendet werden. Durch Plasmaätzen (z. B. RIE oder mikrowellenunterstützte RIE-Verfahren wie ECR-RIE) kann eine sehr schmale, tiefe Struktur erzeugt werden, ohne die Maske zu beschädigen, wie dies in **Fig. 8a** dargestellt ist. In **Fig. 8a** ist hierbei eine Unterätzung der Maske (3) zu erkennen. Diese Unterätzung ist jedoch zur Realisierung der in **Fig. 8b** gezeigten Metallisierungsstruktur (4) nicht unbedingt erforderlich. Die Maske wird entsprechend auch zur Metallisierung verwendet und erst dann in einem sog. "lift-off"-Prozeß entfernt. Nach dem Entfernen der Maske erhält man einen metallisierten Graben (4) (**Fig. 8b**). Eine Justage der Metallisierungsmaske auf die Struktur wird dadurch hinfällig. Die Metallisierung kann entweder durch Bedampfen erfolgen, oder durch Füllen der Strukturen mit Metallpaste. Dies kann durch Rakeln oder 50 ganzflächiges Drucken geschehen.

Ein weiteres erfundungsgemäßes Ausführungsbeispiel (Beispiel 2) erlaubt erstmals die Kontaktierung der Basis einer Solarzelle durch einen homogenen Emitter, d. h. eine die ganze Oberfläche bedeckende Emitterschicht hindurch. Dies ist in **Fig. 9** dargestellt. Dies entspricht einer selbstjustierenden Kontaktierung der Basis bei Einseitenkontaktierung. Dabei ist eine einzige Maske für die Erzeugung der erfundungsgemäßen Gräben oder Löcher und die anschließende Metallisierung ausreichend. Sowohl die aufwendige Herstellung eines selektiven Emitters als auch die Justage der Metallisierungsmaße auf die Struktur entfallen. Damit steht eine einfache Solarzellenkontaktierung von einer Seite zur Verfügung, die sowohl für Dünnschichtzellen auf isolierendem Substrat als auch für Rückseitenkontaktzellen verwendet werden kann.

Die Gräben oder Löcher werden wie im vorangegangenen Beispiel (Beispiel 1) durch Verwendung einer Maske (3) auf der Emitterschicht (2) erzeugt (**Fig. 9a**). Die Emitterschicht

(2) befindet sich auf der Basisschicht (1). Bei dem Verfahren wird entweder die Maske (3) soweit unterätzt (Fig. 9b und 9d) oder die Flankenform der Vertiefungen so geätzt (Fig. 9c), daß eine Maskierung des Emitters (2) bei der Metallisierung gewährleistet ist. Die Metallisierung erfolgt durch Bedampfen und eventuell anschließende galvanische Verdickung des Metalls. Da die Bedampfung nicht genau senkrecht stattfindet, muß auch der Emittorbereich in der Struktur bzw. den Vertiefungen maskiert sein, vergleichbar einem Schattenwurf. Dies wird durch die erfindungsgemäße Struktur sichergestellt. Die Abscheidung oder Aufbringung des Metalls darf für die Realisierung des Basiskontaktes (9) nur bis zu einer Höhe innerhalb der Vertiefungen erfolgen, bei der die Metallisierung (9) noch keinen Kontakt zur Emitterschicht (2) hat. Dies ist in den unteren Abbildungen der Fig. 9b bis 9d zu erkennen. Die dargestellte Querschnittsform der Metallisierung (9) ergibt sich aufgrund der Maskierung.

Die Gräben oder Löcher können bei dieser Anwendung prinzipiell auch naß-chemisch erzeugt werden. Da die Ätzrate dann allerdings isotrop, d. h. horizontal wie vertikal gleich ist, sind nur recht breite Strukturen realisierbar, die eine entsprechend große Abschattung der Solarzelle oder einen hohen Kontaktwiderstand und geringe Stromleitfähigkeit der Kontakte mit sich bringen. Fig. 9d zeigt hierbei eine Form der Vertiefung bzw. des Grabens, wie sie durch naß-chemisches Ätzen erzeugt werden kann.

Geeignete Ätzlösungen oder Materialien bzw. Kristallrichtungen oder auch die geeignete Wahl der Parameter beim Plasmaätzverfahren zur Erzeugung der erfindungsgemäßen Strukturen können jederzeit der Fachliteratur entnommen werden.

Wird für die Kontaktierung keine erfindungsgemäße Struktur mit Selbstmaskierungseffekt verwendet, und erfolgt die Kontaktierung nicht nach dem erfindungsgemäßen Verfahren der Unterätzung einer Maske (3) mit anschließender Metallisierung durch dieselbe Maske, so kommt es zu Kurzschlüssen (12) zwischen Emitter (2) und Basiskontakt (9), wie in Fig. 10 dargestellt. Die Solarzelle ist damit unbrauchbar.

Ein Ausführungsbeispiel (Beispiel 3) für die gleichzeitige selbstjustierende Metallisierung von Emitter und Basis bei Rückseitenkontaktzellen zeigt Fig. 11. Da bei Rückseitenkontaktzellen die gesamte Rückseite metallisiert werden kann, ermöglichen die erfindungsgemäßen Gräben oder Löcher die gleichzeitige selbstjustierende Kontaktierung von Emitter und Basis. Wie im vorangehenden Beispiel (Beispiel 2) werden dazu Strukturen durch den Emitter (2) in die Basis (1) geätzt. Dabei ist die selbstmaskierende Form der Strukturflanken entscheidend. Fig. 11 zeigt die Unterätzung von oberflächennahen Bereichen der Emitterschicht (2), wodurch die Vertiefung im Bereich der Emitterschicht schräge Flanken erhält, deren Abstand mit der Tiefe zunimmt. Anschließend wird die Maske entfernt und es erfolgt eine ganzflächige Metallisierung. Die Metallisierung auf der Emitterschicht (2) bildet den Emitterkontakt (8), die Metallisierung in der Vertiefung bildet den Basiskontakt (9). Es sind, wie in Beispiel 1 erläutert, unterschiedliche Arten von Masken zur Erzeugung der Strukturen möglich. Aufgrund der Form der Gräben oder Löcher mit überstehenden Rändern der oberflächennahen Bereiche der Emitterschicht wird das Metall wie in Fig. 11 gezeigt abgeschieden, so daß ein Kurzschluß zwischen Emitter- (8) und Basis-Kontakt (9) ausgeschlossen ist. Mit dem dargestellten Beispiel werden in vorteilhafter Weise der Emitter (2) und die Basis (1) bei Einsatz einer einzigen Maske gleichzeitig kontaktiert.

Der Emitterkontakt (8) kann entgegen dem vorhergehenden Beispiel (Beispiel 3) auch nicht ganzflächig ausgeführt werden, beispielsweise zur Realisierung eines Emittergrids.

Dazu wird, wie in Fig. 12 dargestellt, eine zusätzliche Metallisierungsmaße (13) benötigt. Die Metallisierung von Emitter (2) und Basis (1) kann aber dennoch in einem Schritt durchgeführt werden. Nach Erzeugung der Vertiefungen entsprechend dem vorangegangenen Beispiel (Beispiel 3) wird die zusätzliche Maske (13) zur Definition des Emitterkontakte aufgebracht. Bei der anschließenden ganzflächigen Metallisierung werden Emitter und Basis gleichzeitig kontaktiert. Anschließend wird die zusätzliche Maske entfernt. Diese Form der gleichzeitigen Metallisierung von Emitter und Basis ist auch auf die einseitige Kontaktierung von der Vorderseite anwendbar. Sie hat die gleichen Vorteile wie beim vorangegangenen Beispiel.

Obwohl in den Ausführungsbeispielen nur die Anwendung bei Solarzellen dargestellt wurde, lassen sich die erfindungsgemäßen Strukturen und Verfahren selbstverständlich entsprechend auch auf andere Halbleiterbauelemente übertragen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbesondere Solarzellen, die zumindest eine erste Schicht oder Schichtfolge aufweisen, mit folgenden Schritten:

- Positionieren einer Ätzmaske über der ersten Schicht oder Schichtfolge, wobei die Ätzmaske die Position der Kontaktstrukturen festlegt;
- Ätzen von Vertiefungen oder Öffnungen an den durch die Ätzmaske vorgegebenen Stellen in die erste Schicht oder Schichtfolge;
- Einbringen von elektrisch leitfähigem Material in die Vertiefungen oder Öffnungen, wobei die Ätzmaske auch als Maske für das Einbringen des leitfähigen Materials dient; und
- Entfernen der Ätzmaske.

2. Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbesondere Solarzellen, die zumindest eine erste Schicht oder Schichtfolge über einer zweiten Schicht oder Schichtfolge aufweisen, mit folgenden Schritten:

- Positionieren einer Ätzmaske über der ersten Schicht oder Schichtfolge, wobei die Ätzmaske die Position der Kontaktstrukturen festlegt;
- Ätzen von Vertiefungen an den durch die Ätzmaske vorgegebenen Stellen durch die erste Schicht oder Schichtfolge bis in die darunterliegende zweite Schicht oder Schichtfolge derart, daß die Ätzmaske unterätzt wird;
- Einbringen von elektrisch leitfähigem Material in die Vertiefungen, wobei die Ätzmaske eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bildet, und das leitfähige Material nur bis zu einer Höhe eingebracht wird, bei der kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder Schichtfolge besteht; und
- nachfolgendes Entfernen der Ätzmaske.

3. Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen, insbesondere Solarzellen, die zumindest eine erste Schicht oder Schichtfolge über einer zweiten Schicht oder Schichtfolge aufweisen, mit folgenden Schritten:

- Positionieren einer Ätzmaske über der ersten Schicht oder Schichtfolge, wobei die Ätzmaske die Position der Kontaktstrukturen festlegt;
- Ätzen von Vertiefungen an den durch die Ätzmaske vorgegebenen Stellen durch die erste Schicht oder Schichtfolge bis in die darunterlie-

gende zweite Schicht oder Schicht folge derart, daß zumindest ein Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge unterätzet wird bzw. negative Flanken erhält;

- Entfernen der Ätzmaske; und
- Einbringen von elektrisch leitfähigem Material in die Vertiefungen, wobei der unterätzte Bereich bzw. die negativen Flanken der ersten Schicht oder Schichtfolge eine Schattenmaske für das Einbringen des Materials bilden, und das leitfähige Material nur bis zu einer Höhe eingebracht wird, bei der kein Kontakt zwischen dem leitfähigen Material und der ersten Schicht oder Schichtfolge besteht.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der unterätzte Bereich bzw. der Bereich mit negativen Flanken ein oberflächennaher Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Unterätzen der Ätzmaske oder das Ätzen negativer Flanken in einem Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge durch gezielte Steuerung von Parametern des Ätzverfahrens und/oder durch unterschiedliches Ätzverhalten der für Ätzmaske und/oder erste Schicht oder Schichtfolge eingesetzten Materialien realisiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das leitfähige Material gleichzeitig mit dem Einbringen in die Vertiefungen ganz flächig auf die erste Schicht oder Schichtfolge aufgebracht wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Einbringen des leitfähigen Materials eine neue Maske zur Definition einer Kontaktstruktur für die erste Schicht oder Schichtfolge auf die erste Schicht oder Schichtfolge aufgebracht wird, anschließend das leitfähige Material gleichzeitig mit dem Einbringen in die Vertiefungen auch in die Kontaktstruktur für die erste Schicht oder Schichtfolge eingebracht wird, und nachfolgend die neue Maske entfernt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht eine Emitterschicht und die zweite Schicht eine Basisschicht einer Solarzelle ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zum Ätzen ein Plasmaätzverfahren eingesetzt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Positionieren der Ätzmaske durch Aufbringen auf die erste Schicht oder Schichtfolge erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Positionieren der Ätzmaske durch Anbringen als Schattenmaske über der ersten Schicht oder Schicht folge erfolgt.

12. Halbleiterbauelement, insbesondere Solarzelle, die zumindest eine erste Schicht oder Schichtfolge (2) über einer zweiten Schicht oder Schichtfolge (1) aufweist, mit

- Vertiefungen oder Öffnungen in der ersten Schicht oder Schichtfolge, die sich bis in die zweite Schicht oder Schichtfolge erstrecken, und die zumindest in einem Bereich der ersten Schicht oder Schichtfolge schräg verlaufende Flanken aufweisen, deren gegenseitige Abstände mit der Tiefe zunehmen; und
- elektrisch leitfähigem Material (9) in den Ver-

tieflungen oder Öffnungen, das nur bis zu einer Höhe eingebracht ist, bei der kein Kontakt zwischen demleitfähigem Material (9) und der ersten Schicht oder Schichtfolge (2) besteht.

13. Halbleiterbauelement nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht die Emitterschicht und die zweite Schicht die Basisschicht einer Solarzelle sind, so daß der Basiskontakt durch die Emitterschicht hindurch realisierbar ist.

14. Halbleiterbauelement nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen oder Öffnungen Gräben und/oder Löcher sind.

15. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht oder Schichtfolge die schrägen Flanken in einem oberflächennahen Bereich aufweist.

16. Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Vertiefungen ein hohes Aspektverhältnis aufweisen.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

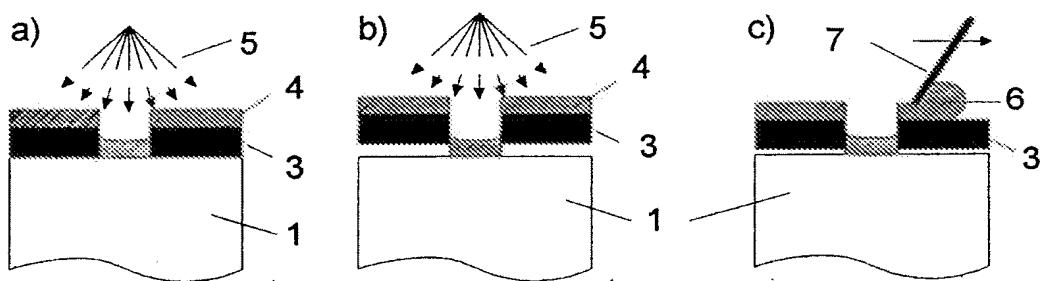


Fig. 1 (Stand der Technik)

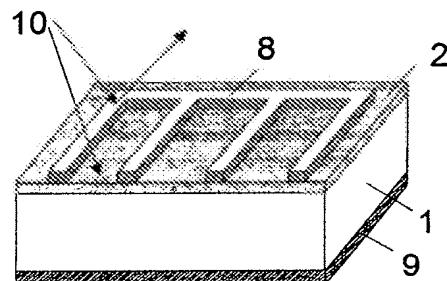


Fig. 2 (Stand der Technik)

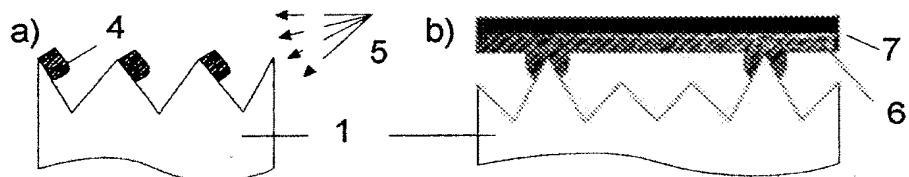


Fig. 3 (Stand der Technik)

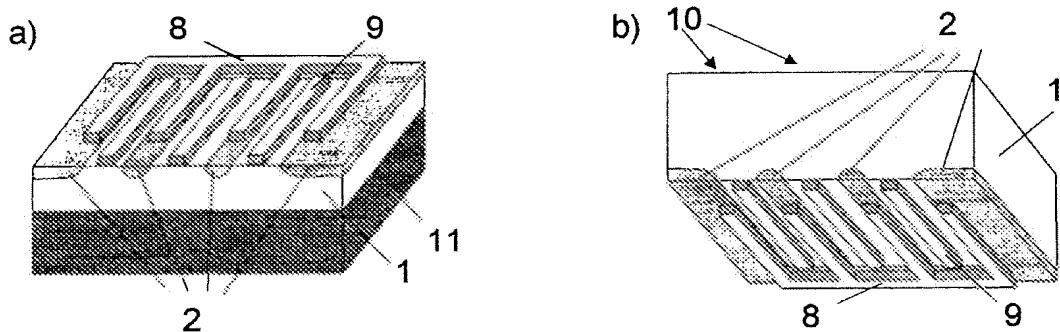


Fig. 4 (Stand der Technik)

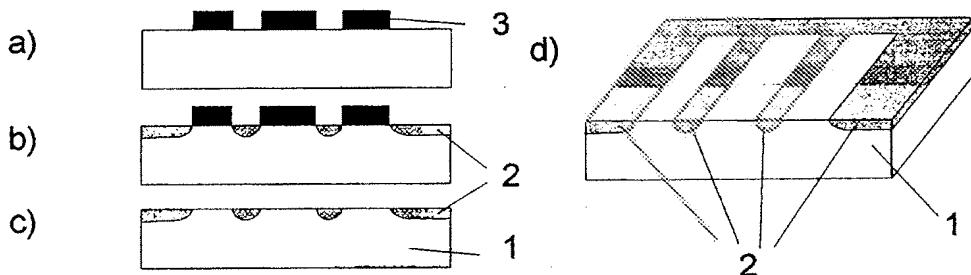


Fig. 5 (Stand der Technik)

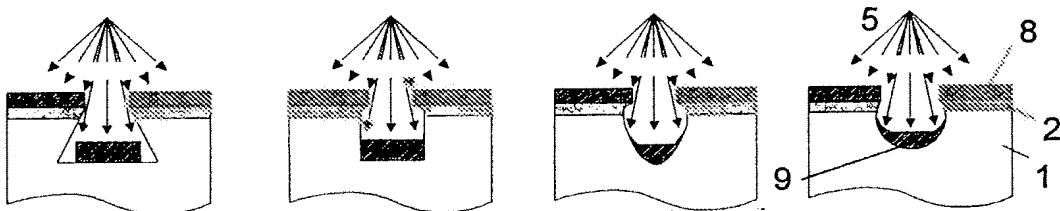


Fig. 6

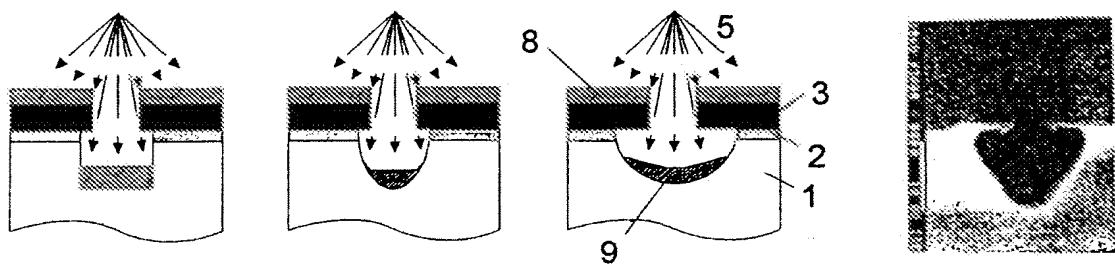


Fig. 7

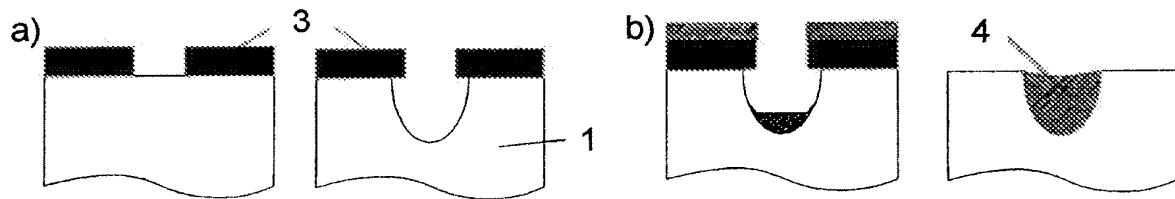


Fig. 8

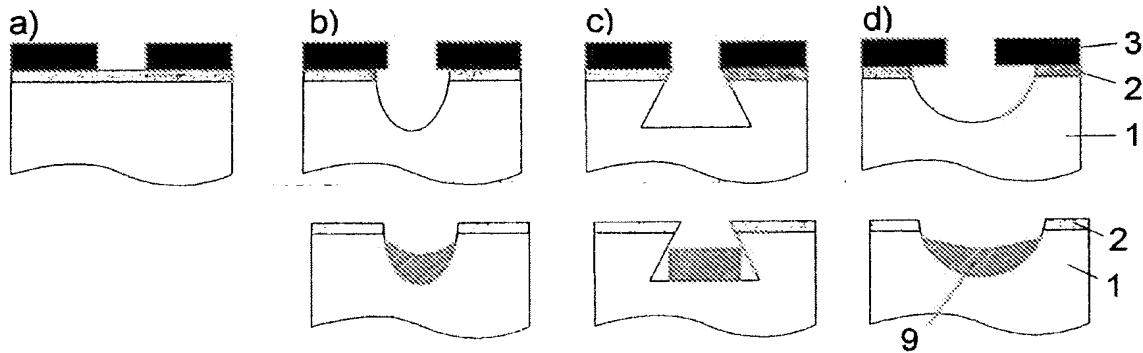


Fig. 9

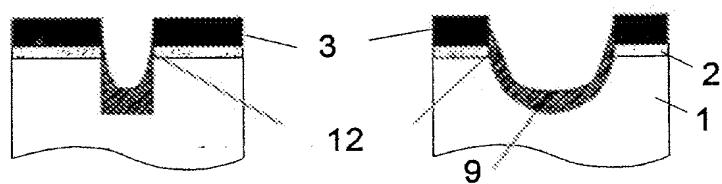


Fig. 10

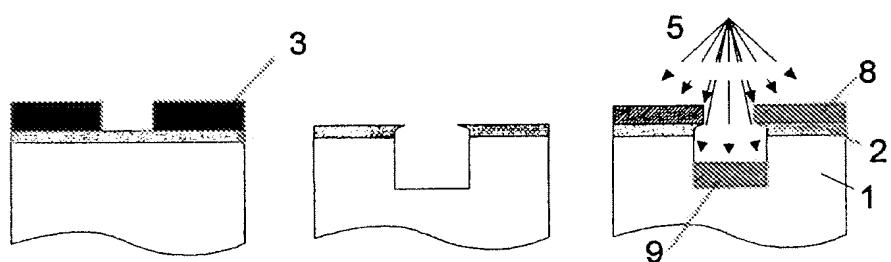


Fig. 11

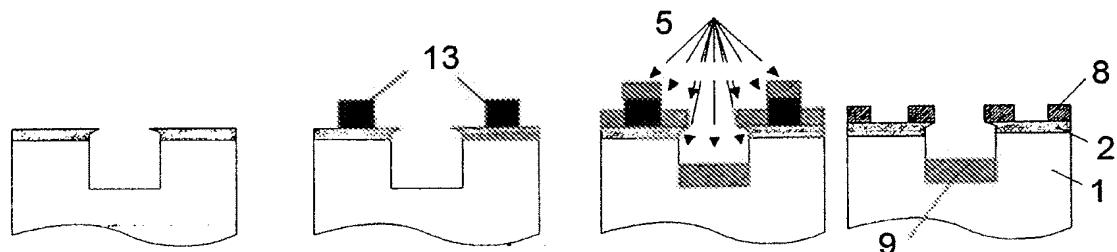


Fig. 12